

(19) 日本国特許 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-332918

(43) 公開日 平成10年(1998)12月18日

(51) Int.Cl. <sup>4</sup>	識別記号	F I	
G 0 2 B 5/18		G 0 2 B 5/18	
B 2 9 D 11/00		B 2 9 D 11/00	
G 0 2 B 3/00		G 0 2 B 3/00	Z
3/08		3/08	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平9-146086

(22) 出願日 平成9年(1997)6月4日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 大出 寿

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

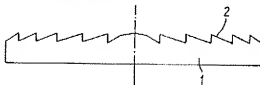
(74) 代理人 弁理士 杉村 曉秀 (外9名)

(54) 【発明の名称】 レリーフ型回折光学素子、およびレリーフ型回折光学素子製造用の型

(57) 【要約】

【課題】 集光点での強度が高く、かつ容易に製造できるレリーフ型回折光学素子を提供する。

【解決手段】 不等間隔格子パターン2を有するレリーフ型回折光学素子1において、1つのゾーン内でレリーフ面の傾き角が異なる箇所を有する断面形状を示す第1のゾーン群と、1つのゾーン内でレリーフ面の傾き角が一定の断面形状を示す第2のゾーン群とを有し、前記第1のゾーン群は、ヒッチが最も大きいゾーンを含み、各ゾーンの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成した形状を有し、前記第2のゾーン群は、位相シフト関数から導かれる断面形状の斜辺部を直線で近似した形状を有することを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 不等間隔格子パターンを有するレリーフ型回折光学素子において、

1つのゾーン内でレリーフ面の傾き角が異なる箇所を有する断面形状を示す第1のゾーン群と、1つのゾーン内でレリーフ面の傾き角が一定の断面形状を示す第2のゾーン群とを有し、

前記第1のゾーン群は、ピッチが最も大きいゾーンを含み、各ゾーンの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成した形状を有し、前記第2のゾーン群は、位相シフト関数から導かれる断面形状の斜辺部を直線で近似した形状を有することを特徴とするレリーフ型回折光学素子。

【請求項2】 請求項1記載のレリーフ型回折光学素子において、

前記レリーフ面を、屈折作用をなす面に回折作用をなす面を重ねて構成したことを特徴とするレリーフ型回折光学素子。

【請求項3】 不等間隔格子パターンを有するレリーフ型回折光学素子製造用の型において、

1つのゾーン内でレリーフ面の傾き角が異なる箇所を有する断面形状を示す第1のゾーン群と、1つのゾーン内でレリーフ面の傾き角が一定の断面形状を示す第2のゾーン群とを有し、

前記第1のゾーン群は、ピッチが最も大きいゾーンを含み、各ゾーンの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成した形状を有し、前記第2のゾーン群は、位相シフト関数から導かれる断面形状の斜辺部を直線で近似した形状を有することを特徴とするレリーフ型回折光学素子製造用の型。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

$$\phi_i(r) = \phi(r) + 2\pi(i-1) \quad \dots (2)$$

$$R_{i-1} < r < R_i \quad (i=1, 2, 3, \dots)$$

これは、1次回折光に対して回折効率を最適化したことに相当する。ここで、 $R_i$  は、 $i$  番目のゾーンの外半径である。なお、隣り合うゾーンの外半径の差をピッチと

$$t(r) = t_g \cdot \{1/\phi_i(r) / 2\pi + 1\} \quad \dots (3)$$

となる。ここで、 $t_g$  はレリーフの最大深さで、

$$t_g = \lambda / (n-1) \quad \dots (4)$$

$n$ ：回折光学素子の材料の屈折率

である。

【0006】なお、上記の(2)式は、1つの回折型レンズのみで平行光束を一点に集光する場合の回折型レンズの位相シフト関数を表すが、各種の光学系、例えばレンズ系の中で回折型レンズを他の光学素子、例えば屈折型レンズ素子と組み合わせる場合には、回折型レンズの位相シフト関数は、一般に高次の偶数次の多項式で表される。

【0007】従来のレリーフ型回折光学素子としては、例えば、特開平1-250902号公報に示されている

【発明の属する技術分野】この発明は、表面に所定の構造を有するレリーフ型回折光学素子、およびレリーフ型回折光学素子製造用の型に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、光学系の小型軽量化の要求に伴い、回折型レンズなどのレリーフ型回折光学素子が注目されている。例えば、回折型レンズは、色収差補正能力を有すると共に、簡単に非球面作用を持たせることができるなどの点から、様々な分野での応用が期待されている。

【0003】ここで、回折型レンズとは、従来の屈折型レンズ、例えば球面レンズ、シリンドリカルレンズ、アナモルフィックレンズなどの作用を、回折作用を用いて実現したもので、例えば、球面レンズに相当する回折型レンズは、同心円の輪郭形状の格子パターンを有し、シリンドリカルレンズに相当する回折型レンズは、直線形状の格子パターンを有する。以後、本明細書では、その格子パターンの溝の一つ一つをゾーンと呼び、回折型レンズの光軸を中心に、周辺に向かって順に1番目のゾーン、2番目のゾーンと数えることにする。

【0004】平行光束をレンズにより一点に集光する場合、このレンズの位相シフト関数は、図15に示すように、

$$\phi(r) = -\pi r^2 / (\lambda f) \quad \dots (1)$$

$r$ ：光軸からの距離

$\lambda$ ：波長

$f$ ：焦点距離

で表される。この $\phi(r)$ を $2\pi$ 位相補正に変形すると、回折型レンズの位相シフト関数 $\phi_i(r)$ は、下記の(2)式で表される。

【0005】図16に示すように、回折型レンズをレリーフ構造で実現する場合、半径 $r$ におけるレリーフ構造の高さ $t(r)$ は、

ように、全てのゾーンの斜辺部を位相シフト関数に対応した曲線形状で形成して、本来の光学性能を充分に発揮できるようにしたものや、光技術コンタクトVol.26、No.3、p208〜212に示されるように、全てのゾーンの斜辺部を直線で近似して、製作性を向上させたものがある。

【0008】また、レリーフ型回折光学素子を製造する方法の一つとして、型を用いた加工法がある。この方法は、製造すべき回折光学素子の断面形状を反転した形状を型に持たせ、この型をガラスやプラスチックなどの材料に押し当て、型の形状を反転して転写したり、あるいは射出成形法や、フォトポリマー法などにより、型の形状を反転して転写するようにしている。このようなレ

リーフ型回折光学素子製造用の型として、例えば、上記の光技術コンタクトVol.26、No. 3、p.211には、全てのゾーンの斜辺部を直線で近似して、型の製作性を向上させるようにしたものが示されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】リーフ型回折光学素子の断面形状は、例えば図16に示すように、位相シフト関数から導かれる形状にすることが望ましい。この場合、各ゾーンの斜辺部は、一般には曲線になる。しかし、断面形状を、図16に示すような曲線形状に形成することは、加工技術、加工時間、製作したものを検査する手間などの点で、様々な問題がある。例えば、切削加工によって断面形状を理想的な曲線形状に形成しようとすると、バイトの切れ刃先端で加工を行うことになり、切れ刃種で加工を行う場合に比べて、良好な表面荒さに加工することが困難となる。

【0010】このため、従来は、図17に示すように、

$$\text{強度比} = \left( \frac{\text{全てのゾーンの斜辺部を直線で近似した回折型素子の集光点での強度}}{\text{全てのゾーンが理想的な断面形状を有する回折型素子の集光点での強度}} \right) \quad \dots (5)$$

【0012】図18から明らかなように、ゾーン数が多い場合は、断面形状の斜辺部を直線で近似したことによる影響はほとんどないが、ゾーン数が少なくなると、集光点での強度の低下が著しくなる。この現象は、例えば、マイクロレンズや、結像光学系に用いて絞りを絞った状態のように、光束が通過するゾーン数が少ない場合に無視できない問題となる。

【0013】このため、このようなリーフ型回折光学素子を用いて光学系を構成すると、光束がリーフ型回折光学素子の少数のゾーンしか通過しない場合には、集光点で強度が大幅に低下し、同時に集光スポットが広がることにより、MTFが低下して解像度が低下するという問題が生じることになる。

【0014】また、リーフ型回折光学素子を製造するのに用いる型を製作する場合、その型の断面形状は、製造すべきリーフ型回折光学素子の位相シフト関数に対応した曲線形状を有することが望ましい。しかし、実際には曲線形状を持たせることが難しいために、斜辺部を直線で近似する場合がある。この場合には、その型を用いて製造されるリーフ型回折光学素子も、斜辺部が直線で近似した形状となって、光学性能が劣化してしまう。

【0015】さらに、旋盤などで型を加工する場合には、バイトの切れ刃先端を用いた切削により、断面形状を曲線にすることは可能であるが、一般に、型材料の加工性は悪いので、バイトの切れ刃先端を用いた切削では、被加工物の表面を鏡面に仕上げることは困難である。このため、その型を用いてリーフ型回折光学素子を形成すると、平均的には断面形状が位相シフト関数から導かれる理想的な形状に形成されても、表面の面荒れ

位相シフト関数から導かれる曲線で示す断面形状4の斜辺部を、実線で示すような直線で近似した断面形状3に加工することがしばしば行われる。この構造は、製造上・検査上大きな利点がある。例えば、切削により断面形状を直線形状に形成する場合には、バイトの切れ刃種による加工ができるので、加工データを簡素化できると共に、被加工物の表面荒さも良好にできるという利点がある。しかし、他方では、斜辺部を直線で近似すると、以下に説明するように、光学性能が劣化してしまうという問題がある。特にゾーン本数が少ない場合には、その影響が著しくなる。

【0011】ここで、波長 $\lambda$ の平行光束を焦点距離 $f$ で集光する回折型レンズにおいて、全てのゾーンの断面形状を直線で近似した場合の集光点での強度について考える。図18は、ゾーン数に対する同一の波長、焦点距離のときの下記(5)式で計算した強度比を示す。

が大いために、入射した光束の一部に散乱が生じて光の利用効率が低下するという問題が生じると共に、その散乱された光束が遠光となって光学性能が低下するという問題が生じることになる。

【0016】この発明は、上述した点に鑑みてなされたもので、その第1の目的は、集光点での強度が高く、かつ容易に製造できるよう適切に構成したリーフ型回折光学素子を提供しようとするものである。

【0017】さらに、この発明の第2の目的は、製造されるリーフ型回折光学素子の表面の面荒れを小さくでき、したがって入射光の散乱を有効に防止して光の利用効率を向上できると共に、散乱による光学性能の低下を有効に防止でき、しかも集光点での強度を高くできるリーフ型回折光学素子を製造するための型を容易に製作できるよう適切に構成したリーフ型回折光学素子製造用の型を提供しようとするものである。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的を達成するため、請求項1に係る発明は、不等間隔格子パターンを有するリーフ型回折光学素子において、1つのゾーン内でリーフ面の傾き角が異なる箇所を有する断面形状を示す第1のゾーン群と、1つのゾーン内でリーフ面の傾き角が一定の断面形状を示す第2のゾーン群とを有し、前記第1のゾーン群は、ピッチが最も大きいゾーンを含み、各ゾーンの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成した形状を有し、前記第2のゾーン群は、位相シフト関数から導かれる断面形状の斜辺部を直線で近似した形状を有することを特徴とするものである。

【0019】また、請求項2に係る発明は、請求項1記載のリーフ型回折光学素子において、前記リーフ面

を、屈折作用をなす面に回折作用をなす面を重ねて構成したことを特徴とするものである。

【0020】さらに、上記第2の目的を達成するため、請求項3に係る発明は、不等間隔格子パターンを有するレリーフ型回折光学素子製造用の型において、1つのゾーン内でレリーフ面の傾き角が異なる箇所を有する断面形状を示す第1のゾーン群と、1つのゾーン内でレリーフ面の傾き角が一定の断面形状を示す第2のゾーン群とを有し、前記第1のゾーン群は、ピッチが最も大きいゾーンを含み、各ゾーンの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成した形状を有し、前記第2のゾーン群は、位相シフト関数から導かれる断面形状の斜辺部を直線で近似した形状を有することを特徴とするものである。

【0021】

【発明の実施の形態】ここで、レリーフ型回折光学素子のゾーンの断面形状が、集光点での強度に与える影響について、波長 $\lambda$ の平行光束を焦点距離 $f$ で集光する回折型レンズを例にとって説明する。本発明者による検討によると、以下に示すようにゾーン数が少ない場合には、全てのゾーンの斜辺部を直線で近似した場合に比べて、中心の1番目のゾーンのみについて、その断面形状の斜辺部を2本の直線で構成することで、集光点での強度が飛躍的に向上することが分かった。

【0022】図19は、1次回折光に対して最適化し、1番目のゾーンの断面形状の斜辺部を2直線で構成した回折型レンズについて、1番目のゾーンを構成する2直線の交点を位相シフト関数上の座標で、 $\{0.55 \cdot R_1, 0.25 \cdot (-2\pi)\}$ とし、それ以外の全てのゾーンの斜辺部を直線で近似した構造として場合の、回折型レンズを構成するゾーンの本来に対する集光点での強度を示すものである。ここで、 $R_1$ は、図16に示すように、中心の1番目のゾーンの外半径である。また、各ゾーンにおける強度は、全てのゾーンを位相シフト関数から導かれる形状に形成した場合の集光点での強度との比として示している。

【0023】図19から明らかなように、1番目以外のゾーンを直線で近似したことによる集光点での強度の低下は僅かである。例えば、ゾーン数が10本の場合について、図18と図19とで比較を行ってみると、全てのゾーンの斜辺部を直線で近似した構造では、集光点での強度比は約0.9に低下するのにに対して、1番目のゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線で構成すると、集光点での強度比は、約0.994になる。

【0024】全てのゾーンの斜辺部を直線で近似したときに生じる光学性能の低下の大きな原因としては、図17に示したように、ゾーンの斜辺部を直線で近似したときの理想的形状からの乖離、すなわち位相シフトの誤差量が挙げられる。しかも、各ゾーンにおける乖離の量は、ピッチの間隔が大きくなるに従って大きくなる。ここで、回折型レンズにおいて、ピッチが最も大きくなる

のは、一般に、中心ゾーンであるから、上記のように、中心ゾーンの斜辺部の形状を2本の直線で近似して構成すれば、集光点での強度の低下を実質的に防止することができるので、全体の光学性能を大きく向上させることができる。

【0025】したがって、請求項1に係る不等間隔格子パターンを有するレリーフ型回折光学素子におけるように、例えば、ピッチが最も大きいゾーンの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成すれば、図18および図19を用いて説明したように、全てのゾーンの斜辺部を直線で近似した場合よりも集光点での強度が向上し、特にゾーン数が少ない場合には、その効果が大きくなる。当然のことながら、ピッチが最も大きいゾーン以外のいくつかのゾーンについても、それらの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で用いて位相シフト関数に近似した断面形状にすれば、集光点での強度を更に向上させることができる。

【0026】また、以上の説明では、回折回数1と化した場合の回折型レンズを例として用いたが、2次以上の高次の回折光に対して最適化した場合にも、この発明を有効に適用することができる。すなわち、この場合には、全輪帯を直線で近似すると、1次回折光に対して最適化した場合に比べ、理想形状に対する斜辺部の乖離がさらに大きくなるので、乖離の大きいゾーンの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で近似して構成する。このようにすれば、理想シフト関数の近似を高めることができ、上述したと同様に、集光点での強度の低下を有効に防止でき、全体の光学性能を大きく向上させることができるので、その効果は大きい。

【0027】このように構成することにより、製造上の負担を大きく増やすことなく、光束が通過するゾーン数にかかわらず集光点での強度が高いレリーフ型回折光学素子を実現することができる。

【0028】この発明の一実施形態においては、請求項1記載のレリーフ型回折光学素子において、該レリーフ型回折光学素子が回折型レンズで、第1のゾーン群に含まれるゾーンの数を、全ゾーン数の半分以上とする。

【0029】図18および図19を用いて説明したように、不等間隔格子パターンを有する回折型レンズにおいて、ピッチが最も大きいゾーンの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成することで、全てのゾーンの斜辺部を直線で近似した場合よりも、集光点での強度を向上でき、特にゾーン数が少ない場合において、その効果が大きくなる。この場合において、ピッチが最も大きいゾーン以外のいくつかのゾーンについて、それらの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成した断面形状にすれば、集光点での強度を更に向上させることができるが、それにつれて製造上の負担も増加することになる。このような観点から、第1のゾーン群に含まれるゾーン数は、全ゾーン数の半分以上とするのが望ましい。

【0030】このように構成することにより、製造上の負担を大きく増やすことなく、光束が通過するゾーン数にかかわらず集光点での強度が高い回折型レンズを実現することができる。

【0031】さらに、この発明の一実施形態においては、上記のように、第1のゾーン群に含まれるゾーン数を全ゾーン数の半分以下とする場合において、中心のゾーンのみが第1のゾーン群に含まれるよう構成する。

【0032】このように構成すれば、回折型レンズでは、ピッチが最も大きいのは一般に中心のゾーン、すなわち1番目のゾーンであるから、図18および図19を

$$z > -2\pi R/R_1, \quad z < -3\pi \{R - (3R_1/5)\}/R_1$$

【0034】このように構成すれば、回折型レンズでは、ピッチが最も大きいのは一般に中心のゾーン、すなわち1番目のゾーンであるので、実質上高い効果を得ることができる。

【0035】さらに、この発明の一実施形態においては、請求項1記載のように、請求項1記載のレリーフ型回折光学素子において、レリーフ面を、屈折作用をなす面に回折作用をなす面を重畳して構成する。

【0036】例えば、球面上に不等間隔格子パターンを形成する場合、回折型レンズ全体として必要なパワーを、屈折面である球面と、回折面としての不等間隔格子パターンとで分担するように設計すると、不等間隔格子パターンが分担するパワーが小さくなり、各ゾーンのピッチが大きくなる傾向にある。このように、ピッチが大きくなると、ゾーンの斜辺部を直線で近似したことによる理想形状からのずれが大きくなるので、上記のように、第1のゾーン群の断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成することは、効果的である。

【0037】さらに、この発明の一実施形態においては、請求項1記載のレリーフ型回折光学素子において、第1のゾーン群の断面形状を構成する直線のうち、1本の直線はレリーフパターンを形成する基板の面と平行となるようにする。

【0038】図20は、1次回折光に対して最適化し、1番目のゾーンの断面形状の斜辺部を、1本の直線がレリーフパターンを形成する基板の面と平行である2直線で構成した回折型レンズについて、1番目のゾーンを構成する2直線の交点の位相シフト関数としての座標を $(0, 34 \cdot R_1, 0)$ とし、それ以外のすべてのゾーンの斜辺部を直線で近似した構造とした場合の、回折型レンズを構成するゾーンの本数に対する集光点での強度を示すものである。ただし、各ゾーン数における強度は、全てのゾーンを位相シフト関数から導かれる形状に形成した場合の集光点での強度との比として示している。

【0039】図20から判るように、1番目以外のゾーンを直線で近似したことによる集光点での強度の低下は

用いて説明したように、そのピッチが最も大きいゾーンのみの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成すれば、高い効果が得られることとなる。

【0033】さらに、この発明の一実施形態においては、上記のように、中心のゾーンのみが第1のゾーン群に含まれるよう構成する場合において、中心のゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線で構成すると共に、その2直線の交点の位置を、位相シフト関数上の座標 $(R, z)$ に関して、 $(0 \leq R \leq R_1, -2\pi \leq z \leq 0)$ の範囲にあり、かつ下記の条件を満たすようにする。

$$\dots (6)$$

備である。例えば、ゾーン数が10本の場合について、図18および図19と比較してみると、全てのゾーンの斜辺部を直線で近似した構造(図18)では、集光点での強度比は約0.9に低下するのに対して、図20では、図19の結果よりは若干劣るものの、集光点での強度比は約0.988となる。

【0040】このように、中心のゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線で構成し、そのうち1本の直線をレリーフパターンが形成される基板の面と平行になるようにしても、理想形状からの乖離を少なくすることができるので、集光点での強度の低下を効果的に防止することができる。全体の光学性能を向上させることができる。

【0041】さらに、上記のように1本の直線をレリーフパターンが形成される基板の面と平行となるようにすれば、製造上および検査上大きな利点がある。例えば、レリーフ構造をバイトによる切削を含む工程により実現する場合、1回の切削のみで、断面形状の斜辺部を2本の直線で構成した形状に加工することができるので、切削の工程を少なくすることができる。したがって、断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成した他の回折型レンズに比べ、製作が容易となる。

【0042】さらに、この発明の一実施形態においては、上記のように、1本の直線をレリーフパターンが形成される基板の面と平行とする場合において、中心のゾーンのみが第1のゾーンに含まれ、該中心のゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線で構成し、その2直線の交点の位置が、位相シフト関数上の座標 $(R, z)$ に関して、

$$0 < R < 0.59 \cdot R_1, \quad z = 0$$

の条件を満たすようにする。

【0043】このように構成すれば、集光点での強度の低下防止について、実質上の効果を得ることができる。

【0044】さらに、この発明の一実施形態においては、第1のゾーン群および第2のゾーン群が回転対称となる共通の回転軸を有するよう構成する。

【0045】さらに、この発明の一実施形態においては、第1のゾーン群が、上記の回転軸に対して垂直な面

を含むように構成する。

【0046】さらに、請求項3に係るレリーフ型回折光学素子製造用の型におけるように、ピッチの最も大きいゾーンの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成し、その他のゾーンの断面形状の斜辺部を直線で近似した形状に構成すれば、この型をバイトによる切削を含む工程によって製作する場合、各ゾーンの断面形状が全て直線で構成されているので、製作が容易になる。なお、例えば、凸作用を有する回折型レンズを製造するための型をバイトによる切削を含む工程によって製作する場合には、中心のゾーンについては、光軸に近い側の直線はバイトの切れ刃先端で切削することになるが、各ゾーンの形状を切れ刃先端で理想形状に切削する場合に比べれば、全体として良好な表面荒さに加工作ることが可能となる。

【0047】また、凸作用を有する回折型レンズを製造するための型をバイトによる切削を含む工程によって製作する場合には、中心のゾーンを含む全てのゾーンの断面形状の切削加工は、バイトの切れ刃端で行うことができるので、良好な表面荒さに加工作ることが可能となる。したがって、いずれの場合でも、容易に製作できると共に、該型を用いて製造されるレリーフ型回折光学素子として、その表面の面荒れを小さくでき、したがって入射光の散乱を有効に防止して光の利用効率を向上できると共に、散乱による光学性能の低下を有効に防止できる。

【0048】しかも、この型を用いて製造される回折光学素子は、ピッチが最も大きいゾーンの断面形状の斜辺部が2本以上の直線で構成され、その他のゾーンは断面形状の斜辺部が直線で近似した形状となるので、図18および図19を用いて説明したように、光束が通過するゾーン数にかかわらず集光点での強度が高い回折光学素子を得ることができる。なお、ピッチが最も大きいゾーン以外のいくつかのゾーンについても、それらの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成すれば、該型を用いて製造されるレリーフ型回折光学素子の集光点での強度を更に向上させることができる。

【0049】この発明の一実施形態においては、請求項3記載のレリーフ型回折光学素子製造用の型において、該型が回折型レンズ製造用の型で、第1のゾーン群に含まれるゾーンの数を、全ゾーン数の半分以下とする。

【0050】かかる型を用いて回折型レンズを製造すれば、得られる回折型レンズは、ピッチが最も大きいゾーンの斜辺部が2本以上の直線で形成された断面形状となり、その他のゾーンの斜辺部は直線で近似された断面形状となる。また、ピッチが最も大きいゾーン以外のいくつかのゾーンについても、それらの斜辺部の断面形状を2本以上の直線で構成すれば集光点での強度を更に向上させることができるが、それにつれて型の製作上の負担も増加することになる。したがって、型の製作上の観点

からは、第1のゾーン群に含まれるゾーン数を、最大でも全ゾーン数の半分以下とするのが望ましく、このような型を用いて回折型レンズを製造すれば、図18および図19を用いて説明したように、光束が通過するゾーン数にかかわらず、集光点での強度が高い回折型レンズを得ることができる。

【0051】さらに、この発明に係るレリーフ型回折光学素子製造用の型の一実施形態においては、上記のように、第1のゾーン群に含まれるゾーン数を全ゾーン数の半分以下とする場合において、中心のゾーンのみが第1のゾーン群に含まれるよう構成する。

【0052】このように構成すれば、より簡単に型を製作することができると共に、かかる型を用いて回折型レンズを製造すれば、得られる回折型レンズは、中心のゾーンのみが、その断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成した形状となり、他のゾーンは斜辺部を直線で近似した形状になる。ここで、回折型レンズは、一般に中心のゾーンのピッチが最も大きいので、図18および図19で説明したように、集光点での強度が高い回折型レンズを得ることができる。

【0053】さらに、この発明に係る型の一実施形態においては、レリーフ面を、回折作用と屈折作用との両方を同時に行うように、回折作用をなす面に屈折作用をなす面を重畳して構成する。

【0054】例えば、型を用いて球面上に不等間隔格子パターンを有する回折型レンズを製造する場合、回折型レンズ全体として必要なパワーを、屈折面である球面と、回折面としての不等間隔格子パターンとで分担するように設計すると、不等間隔格子パターンが分担するパワーが小さくなり、各ゾーンのピッチが大きくなる傾向にある。このように、ピッチが大きくなると、ゾーンの斜辺部を直線で近似したことによる理想形状からのずれが大きくなるので、上記のように、第1のゾーン群の断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成することは、効果が大い。

【0055】さらに、この発明の一実施形態においては、請求項3記載のレリーフ型回折光学素子製造用の型においては、第1のゾーン群の断面形状を構成する直線のうち、1本の直線はレリーフパターンを形成する基板の面と平行となるようにする。

【0056】かかる型を用いて、例えば回折型レンズを製造すれば、得られる回折型レンズは、断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成したゾーンについては、その斜辺部を構成する1本の直線の傾きがレリーフパターンが形成される基板の面と平行になるように形成され、他のゾーンについては、斜辺部を直線で近似した形状になる。したがって、図18および図20を用いて説明したように、集光点での強度を向上させることができる。

【0057】さらに、上記のように1本の直線をレリーフパターンが形成される基板の面と平行になるように形

成すれば、製造上・検査上大きな利点がある。例えば、レリーフ構造をバイトによる切削を含む工程により実現する場合、切削するバイトの角度の調整が容易となり、断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成した他の回折型レンズの型に比べ、型の製作が容易となる。特に、凹バーを有し、中心のゾーンの断面形状の斜辺部が2本以上の直線で構成され、そのうちの1本の直線がレリーフパターンを形成する基板の面と平行になる回折光学素子を製作するための型を、バイトによる切削を含む工程により製作する場合には、1回の切削のみで断面形状の斜辺部を2本の直線で構成した形状に加工できるので、切削の工程を少なくすることができ、型の製作がさらに容易になる。

【0058】さらに、この発明に係る型の一実施形態においては、第1のゾーン群および第2のゾーン群が回転対称となる共通の回転軸を有するよう構成する。

【0059】さらに、この発明に係る型の一実施形態においては、第1のゾーン群が、上記の回転軸に対して垂直な面を含むように構成する。

【0060】さらに、この発明の一実施形態においては、上述したこの発明に係るレリーフ型回折光学素子を用いて光学系を構成する。

【0061】このように、この発明に係るレリーフ型回折光学素子を用いて光学系を構成すれば、図19および図20を用いて説明したように、レリーフ型回折光学素子自体の集光点の強度や、光束が通過するゾーン数が少ない場合でも高くできるので、フレアの発生を有効に防止した、解像度の良好な光学系を実現することができる。

【0062】以下、図面を参照してこの発明の実施の形態について説明する。図1は、この発明の第1実施形態を説明するための図である。このレリーフ型回折光学素子1は、波長 $\lambda$ の平行光束を焦点距離 $f$ で集光する回折型レンズで、両面を平行に研磨した平行平板形状の例えば光学ガラスの片面に、光軸に対して回転対称な同心円状の構造を有する不等間隔格子パターン2よりなるレリーフパターンを形成したレリーフ面を有する。なお、図1も含め、レリーフ型回折光学素子の図は概念図であって、実際の形状を正確に示している訳ではない。

【0063】図2は、図1に示したレリーフ型回折光学素子1の光軸付近の拡大図である。不等間隔格子パターン2は、1次回折光に対して回折効率が高減化されており、そのときの各ゾーンの最大深さ $t_g$ は、 $t_g = \lambda / (n-1)$ である。但し、 $n$ はレリーフ型回折光学素子1の基板材料の波長 $\lambda$ に対する屈折率である。図2において、実線はこの実施形態における断面形状3であり、破線は位相シフト関数から導かれる断面形状4である。中心の1番目のゾーンの断面形状4の斜辺部は、2本の直線で構成された形状となっている。また、その他のゾーンについては、位相シフト関数から導かれる斜

辺部を1本の直線で近似した形状となっている。

【0064】回折型レンズは、一般に、中心のゾーンのピッチが最も大きくなる。したがって、この実施形態におけるように、ピッチが最も大きいゾーンのみにについてその断面形状の斜辺部を2本の直線で構成すれば、図18および図19を用いて説明したように、全てのゾーンの断面形状の斜辺部を直線で構成した場合よりも集光点での強度を向上することができる。特に、このような構造をとることにより、ゾーン数が少ない場合、あるいは回折光学素子全体としてのゾーン数が多いが、光束が実際に通過するゾーン数が少ない場合などに生じる集光点での強度の大幅な低下を有効に防止することができる。

【0065】また、図1に示すレリーフ型回折光学素子1をバイトによる切削を含む工程によって製造する場合には、各ゾーンの断面形状が全て直線で構成されているので、加工が容易になるという利点がある。すなわち、この場合には、全てのゾーンの切削加工を、バイトの切れ刃で行うことができるので、バイトの切れ刃先端で加工する場合に比べ、加工データが簡単になると共に、良好な表面荒さに加工することが可能となる。

【0066】以下、この実施形態における変形例について説明する。例えば、図1には、凸作用を有する回折型レンズの構成を示したが、同様に、凹作用を有する回折型レンズを構成することもできる。また、この凹作用を有する回折型レンズをバイトによる切削を含む工程によって製造する場合、中心のゾーンの切欠に近い側の直線は切れ刃先端によって切削して形成する必要があるが、各ゾーンの形状を切れ刃先端によって理想形状に切削する場合に比べれば、全体として良好な表面荒さに加工することが可能となる。

【0067】さらに、図18および図19を用いて説明した際、1番目のゾーンの断面形状の斜辺部を構成する2本の直線の交点は、位相シフト関数上の座標で、 $(0, 5.5 \cdot R_1, 0, 2.5 \cdot (-2\pi))$ としたが、交点の座標はこれに限定するものではない。この点について、さらに詳細に説明する。

【0068】図3は、積層数20の回折型レンズについて、1番目のゾーンの断面形状の斜辺部を構成する2直線の交点の座標を位相シフト関数上の座標で  $(0 \leq R \leq R_1, -2\pi \leq z \leq 0)$  の範囲で変化させたときの、集光点での強度比を示す。各升目の中心が2直線の交点の座標を表し、その交点を有するときの集光点での強度比を各升目の模様で示している。各模様の表示は、白色に近づくほど強度比が高くなることを示し、白で示した升目は、0.98以上の強度比を有している領域である。図3から明らかなように、1番目のゾーンの斜辺部を構成する2直線の交点の座標は、位相シフト関数上の  $(0 \leq R \leq R_1, -2\pi \leq z \leq 0)$  の座標範囲で、 $z > -2\pi R / R_1$ ,  $z < -3\pi (R - (3R_1 / 5)) / R_1$

の条件を同時に満たすならば、高い効果を得ることができる。

【0069】ただし、全ゾーンの断面形状の斜辺部を直線で構成した場合、集光点での強度比は、約0.94となるが、黒で示した昇目は0.94未満の強度比を有している領域であるため、このような領域に2直線の交点があるように構成しても効果はない。

【0070】また、1番目のゾーンの断面形状の斜辺部を2直線で構成する際、ゾーンの両端の位置は、位相シフト関数上の座標で(0, 0)および(0,  $-2\pi$ )で固定としたが、これに限定するものではなく、例えば図4に示すように、中心でのz軸の座標 $z_0$ を $z_0 \neq 0$ とすることにより、理想形状からの乖離を小さくするように構成して、上記と同様の効果を得ることもできる。

【0071】さらに、図1に示す実施形態では、レリーフ型回折光学素子1の基板形状を平行平板として説明したが、例えば図1に示すように、平凸形状の基板上の凸面側に不等間隔格子パターンを形成しても、同様の効果を得ることができる。すなわち、球面上に不等間隔格子パターンを有する回折型レンズの場合、凹折型レンズ全体として必要なパワーを、屈折面である球面と凹折面としての不等間隔格子パターンとで分担するように設計すると、不等間隔格子パターンが分担するパワーが小さくなって、各ゾーンのピッチが大きくなる傾向にある。したがって、このような場合に、中心の1番目のゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線で構成した形状に形成することは効果が大きい。また、図1に示す構成の不等間隔格子パターン2は、基板の片面だけでなく、両面に形成する場合にも有効に適用することができる。

【0072】さらに、断面形状の斜辺部を2直線で近似するゾーンは、中心の1番目のゾーンのみをでなく、例えば中心から1番目と2番目ゾーンとすることもできる。このように構成すれば、中心の1番目のゾーン7の斜辺部のみを2直線で構成する場合に比べて、光学性能をより向上させることができる。

【0073】また、図1では、不等間隔格子パターン2を、1次回折光に対して最適化したが、その他の次数光に対して最適化することもできる。この場合、最適化する回折次数を $m$ とすると、

$$t_g = m\lambda / (n-1)$$

となる。このように高次の回折次数について最適化した回折型レンズにおいては、全ゾーンの断面形状の斜辺部を直線で近似すると、回折次数1次で最適化した場合に比べて、理想的な位相シフト関数からの乖離がさらに大きくなる。したがって、この場合において、上述したと同様に、ゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線を用いて構成すれば、理想的な位相シフト関数からの乖離を小さくすることができるので、大きな効果を得ることができる。特に、理想形状からの乖離の大きいゾーンに関し、そのゾーンの断面形状の斜辺部を3本以上の直線

で構成すれば、理想形状に対する斜辺部の乖離をより小さくできるので、高い強度比を得ることができる。

【0074】さらに、上記の不等間隔格子パターン2の構成は、透過型に限らず、反射型の場合にも同様に適用することができる。但し、反射型の場合には、最大深さ $t_g$ は、

$$t_g = m\lambda / 2 \quad (m: \text{反射回折次数})$$

となる。

【0075】また、不等間隔格子パターン2は、同心円状に限らず、シリンドリカルレンズに相当する直線パターンや、楕円パターンに形成することもできる。さらに、レリーフ型回折光学素子1を構成する基板材料は、光学ガラスに限らず、プラスチック、光学結晶、金属などをを用いることもできる。

【0076】図6は、この発明の第2実施形態を説明するための図である。このレリーフ型回折光学素子1は、波長 $\lambda$ の平行光束を焦点距離 $f$ で集光する回折型レンズで、両面を平行に研磨した平行平板形状の例えば光学ガラスの片面に、光軸に対して回転対称な同心円状の構造を有する不等間隔格子パターン2よりなるレリーフパターンを形成したレリーフ面を有する。

【0077】図7は、図6に示したレリーフ型回折光学素子1の光軸付近の拡大図である。不等間隔格子パターン2は、1次回折光に対して回折効率を最適化されており、そのときの各ゾーンの最大深さ $t_g$ は、 $t_g = \lambda / (n-1)$ である。但し、 $n$ はレリーフ型回折光学素子1の基板材料の波長 $\lambda$ に対する屈折率である。図7において、破線はこの実施形態における断面形状3であり、破線は位相シフト関数から導かれる断面形状4である。中心の1番目のゾーン7の断面形状4の斜辺部は、2本の直線で構成され、そのうちの1本の直線は、レリーフパターンが形成される基板の面と平行となっている。また、その他のゾーンについては、位相シフト関数から導かれる斜辺部を1本の直線で近似した形状となっている。

【0078】上述したように、回折型レンズは、一般に、中心のゾーンのピッチが最も大きくなる。したがって、この実施形態におけるように、ピッチが最大大きいゾーンのみについてその断面形状の斜辺部を2本の直線で構成し、そのうちの1本の直線を、レリーフパターンが形成される基板の面と平行となるようにすれば、図18および図20を用いて説明したように、全てのゾーンの断面形状の斜辺部を直線で構成した場合よりも集光点での強度を向上することができる。特に、このような構造をとることにより、ゾーン数が少ない場合、あるいは回折光学素子全体としてのゾーン数が多いが、光束が実際に通過するゾーン数が少ない場合などに生じる集光点での強度の大端な低下を有効に防止することができる。

【0079】また、図6に示すレリーフ型回折光学素子1をバイトによる切削を含む工程によって製造する場合



には、各ゾーンの断面形状が全て直線で構成されているので、加工が容易になるという利点がある。さらに、凸作用を有するレリーフパターンの場合、1番目のゾーンを形成するための切削は、2本の直線で構成される断面形状を1回の切削のみで形成できるので、切削の工程を少なくでき、容易に製造することができると共に、この場合には、全てのゾーンの切削加工を、バイトの切れ刃で行うことができるので、良好な表面荒さに加工することが可能となる。

【0080】以下、この実施形態における変形例について説明する。例えば、図6には、凸作用を有する回折型レンズの構成を示したが、同様に、凹作用を有する回折型レンズを構成することもできる。なお、この凹作用を有する回折型レンズをバイトによる切削を含む工程によって製造する場合、中心のゾーンについては、断面形状を構成する直線に切削する必要があることから、レリーフパターンが形成される基板の面と平行となる直線は、切れ刃先端によって切削する必要がある。しかし、斜辺部を基板面に対して角度を有する2本の直線で構成して凹作用を有する回折型素子を製造する場合に比べれば、バイトの角度の調整が容易になる。

【0081】さらに、図18および図20を用いて説明した際、1番目のゾーンの断面形状の斜辺部を構成する2本の直線の交点は、位相シフト関数上の座標で、 $(0.34 \cdot R_1, 0)$ としたが、交点の座標はこれに限定するものではない。この点について、さらに詳細に説明する。

【0082】図8は、輪常数2.0の回折型レンズについて、1番目のゾーンの断面形状の斜辺部を構成する2直線の交点の座標を、位相シフト関数上の座標で  $(0 \leq R \leq R_1, z=0)$  の範囲で変化させたときの集光点での強度比を示す。横軸に  $R$  軸、縦軸にその交点を有するときの集光点での強度比を示している。図8から明らかなように、1番目のゾーンの斜辺部を構成する2直線の交点の座標が、位相シフト関数上の  $(0 < R < 0.59 \cdot R_1)$  の座標範囲に存在すれば、全てのゾーンの斜辺部を直線で構成した場合に比べ強度比が高くなる。また、交点の座標が、望ましくは  $(0.19 \cdot R_1 \leq R \leq 0.47 \cdot R_1)$  の範囲に存在すれば、強度比が0.98以上となり、高い効果を得ることができる。

【0083】さらに、図6に示す実施形態では、レリーフ型回折光学素子1の基板形状を平行平板として説明したが、屈折作用をなす凸形状の基板上の凸面側に不等間隔格子パターンを重畳して形成する場合について適用して良好な効果を得ることができる。このように、球面上に不等間隔格子パターンを形成して回折型レンズとして用いる場合、回折型レンズ全体として必要なパワーを、屈折面である球面と回折面としての不等間隔格子パターンとで分担するように設計すると、不等間隔格子パターンが分担するパワーが小さくなって、各ゾーンのピ

ッチが大きくなる傾向にある。したがって、このような場合に、中心の1番目のゾーン7の断面形状4の斜辺部を2本の直線で構成し、そのうちの1本の直線を、レリーフパターンが形成される基板の面と平行にするように、すなわち光軸に対して直交するようにすれば、その効果は大きい。この場合、中心のゾーン7は、光軸に対して垂直な面を含むことになる。

【0084】図9は、この発明の第3実施形態を説明するための図である。この実施形態は、凸作用を有する回折型レンズを製造するのに用いるレリーフ型回折光学素子製造用の型10を示すものである。この型10は、例えばWC（タングステンカーバイト）からなる平行平板状の聖材料の一方の面に、製造すべき回折型レンズの不等間隔格子パターンを反転した形状の不等間隔格子パターン11を形成し、他方の面は平滑に研磨して構成する。不等間隔格子パターン11は光軸に対して回折対称な同心円状で、その断面は、製造すべき回折型レンズが1次回折光に対して最適化された溝深さ、形状となるように形成する。

【0085】また、不等間隔格子パターン11の中心のゾーンは、製造すべき回折型レンズの断面形状の斜辺部を2本の直線で近似した形状を反転した形状とし、他のゾーンは斜辺部を直線で近似した形状を反転した形状とする。なお、型10により加工される材料が、その加工工程で収縮する場合には、その収縮分を補正するように断面形状を形成する。

【0086】このレリーフ型回折光学素子用の型10を用いて回折型レンズを製造すれば、中心のゾーンの斜辺部を2本の直線で構成した断面形状を持ち、他のゾーンは斜辺部を直線で近似した形状を有する。第1実施形態で説明したと同様の良好な光学特性を有する回折型レンズを得ることができる。

【0087】また、この実施形態の型10は、その各ゾーンの断面形状が全て直線となっているので、バイトによる切削を含む工程によって容易に製作できる利点がある。ただし、上記のような凸作用を有する回折型レンズを成形するための型を、バイトによる切削を含む工程によって製作する場合、中心のゾーンについては、光軸に近い側の直線はバイトの切れ刃先端で切削することになるが、この場合でも、各ゾーンの形状を切れ刃先端で理想形状に切削する場合に比べれば、全体として良好な表面荒さに加工することが可能となる。

【0088】以下、この実施形態における変形例について説明する。例えば、図9では、凸作用を有する回折型レンズを製造するための型構造としたが、同様に、凹作用を有する回折型レンズを製造するための型を構成することもできる。なお、この凹作用を有する回折型レンズの製造用の型をバイトによる切削を含む工程によって製作する場合には、中心のゾーンを含む全てのゾーンの断面形状の切削加工を、バイトの切れ刃で行うことができ

きるので、良好な表面荒さに加工することが可能となる。

【0089】また、レリーフ型回折光学素子製造用の型10の材料は、上述したWCに限らず、他の聖材料、例えばSiC（シリコンカーバイド）、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、NiPなどを用いることもできる。特に、レリーフ型回折光学素子の材料としてガラスを用いる場合には、型10の材料としてWC、SiC、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ を用いるのが好ましく、また、レリーフ型回折光学素子の材料としてプラスチックを用いる場合には、型10の材料としてNiPを用いるのが好ましい。さらに、上述したレリーフ型回折光学素子製造用の型は、不等間隔格子パターン11が同心円状の回折型レンズの製造用のものに限り、格子パターンが直線状のものや、楕円状のものの製造用として構成することもできる。

【0090】また、図9では、平行平板状の基板上に不等間隔格子パターン11を形成したレリーフ型回折光学素子製造用の型10を示したが、例えば図10に示すように、球面上に不等間隔格子パターンを形成してレリーフ型回折光学素子製造用の型10'を構成することもできる。このような型を用いて、球面上に不等間隔格子パターンを有する回折型レンズを製造する場合、回折型レンズ全体として必要なパワーを、屈折面である球面と回折面としての不等間隔格子パターンとで分担するように設計すると、不等間隔格子パターンが分担するパワーが小さくなって、各ゾーンのピッチは大きくなる傾向にある。したがって、このような回折型レンズを製造する場合に、その型の中心の1番目のゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線で形成すれば、得られる回折型レンズの集光点での強度を高めることができ、その効果は大きい。

【0091】図11は、この発明の第4実施形態を説明するための図である。この実施形態は、凹作用を有する回折型レンズを製造するのに用いるレリーフ型回折光学素子製造用の型10を示すものである。この型10は、例えばWCからなる平行平板状の聖材料の一方の面に、製造すべき回折型レンズの不等間隔格子パターンを反転した形状の不等間隔格子パターン11を形成し、他方の面は平滑に研磨して構成する。不等間隔格子パターン11は光軸に対して回転対称な同心円状で、その断面は、製造すべき回折型レンズが1次回折光に対して最適化された清潔さ、形状となるように形成する。

【0092】また、不等間隔格子パターン11の中心のゾーンは、製造すべき回折型レンズの断面形状の斜辺部を2本の直線で構成し、そのうちの1本の直線がレリーフパターンが形成される基板の面と平行になった断面形状を反転した形状とし、他のゾーンは斜辺部を直線で近似した形状を反転した形状とする。

【0093】このレリーフ型回折光学素子用の型10を用いて回折型レンズを製造すれば、中心のゾーンの斜辺

部が2本の直線で構成され、そのうちの1本の直線がレリーフパターンが形成される基板の面と平行になった断面形状を有し、他のゾーンは斜辺部を直線で近似した形状を有する。第2実施形態で説明したと同様の良好な光学特性を有する回折型レンズを得ることができる。

【0094】この実施形態の型10は、第3実施形態の場合と同様に、その各ゾーンの断面形状が全て直線となっているので、バイトによる切削を含む工程によって容易に製作できる利点がある。しかも、この場合には、2本の直線で構成される断面形状を有する1番目のゾーンについては、1回の切削で済むので、切削の工程を少なくでき、より容易に製作することができると共に、全てのゾーンをバイトの切れ刃後で切削加工することができるので、良好な表面荒さに加工することが可能となる。

【0095】なお、図11では、凹作用を有する回折型レンズを製造するための型構造としたが、凹作用を有する回折型レンズを製造するための型を構成することもできる。ただし、このような型をバイトによる切削を含む工程によって製作する場合には、中心のゾーンについては、断面形状を構成する直線部に切削する必要があるが、この場合、1本の直線についてはレリーフパターンが形成される基板の面と平行となるように切削するので、斜辺部を傾斜した2本の直線で構成した回折光学素子製造用の型を製作する場合に比べて、バイトの角度調整が容易になる利点がある。

【0096】また、図11では、平行平板状の基板上に不等間隔格子パターン11を形成したレリーフ型回折光学素子製造用の型10を示したが、球面上に不等間隔格子パターンを形成してレリーフ型回折光学素子製造用の型を構成することもできる。このような型を用いて、球面上に不等間隔格子パターンを有する回折型レンズを製造する場合、回折型レンズ全体として必要なパワーを、屈折面である球面と回折面としての不等間隔格子パターンとで分担するように設計すると、不等間隔格子パターンが分担するパワーが小さくなって、各ゾーンのピッチは大きくなる傾向にある。したがって、このような場合に、その型の中心の1番目のゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線で構成し、そのうちの1本の直線が光軸に対して直交するようにすれば、得られる回折型レンズの集光点での強度を高めることができ、その効果は大きい。この場合、中心のゾーンは、光軸に対して垂直な面を含むことになる。

【0097】さらに、図11に示すような構成は、不等間隔格子パターン11が同心円状の回折型レンズの製造用のものに限り、格子パターンが直線状のものや、楕円状のものの製造用の型の場合にも有効に適用することができる。

【0098】図12は、この発明の第5実施形態を説明するための図で、レリーフ型回折光学素子を含むカメラのような画像光学系を模式的に示したものである。この

撮像光学系は、絞り12、屈折レンズ13、レリーフ型回折光学素子1'と、像面15を含む、レリーフ型回折光学素子1'は、絞り12部の面にレリーフパターンが形成された回折型レンズで、その断面形状は、第1実施形態で説明したように、中心の1番目のゾーンは、その断面形状の斜辺部が2本の直線で構成され、他のゾーンは、その斜辺部を直線で近似した断面形状となっている。

【0099】かかる光学系において、図示しない物体から入射する光量が增大し、それに応じて絞り12の径を小さくすると、回折型レンズ14の光束が通過するゾーン数が減少する。この場合、回折型レンズとして、従来例で説明したような全てのゾーンの斜辺部を直線で近似した形状のものをを用いると、ゾーン数の減少によって焦点点での強度が大幅に低下することになる。しかし、この実施形態では、レリーフ型回折光学素子1'として、第1実施形態で説明した構造の回折型レンズを用いているので、光束が通過する回折格子のゾーン数が減少しても、焦点点での強度の大幅な低下を有効に防止することができ、したがって撮像光学系における解像度の低下を有効に防止することができる。

【0100】このように、レリーフ型回折光学素子1'として、ピッチが最も大きいゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線で構成した形状とし、その他のゾーンの斜辺部は直線で近似したものをを用いて撮像光学系を構成すれば、光束が通過する回折光学素子のゾーン数にかかわらず、焦点点で高い強度が得られる解像度の良好な光学系を実現することができる。

【0101】なお、図12では、屈折レンズ13と回折型レンズとを組み合わせた光学系としたが、回折型レンズのみからなる撮像光学系を構成することもできる。また、絞り12を用いない光学系を構成することもできる。なお、絞り12を用いない場合には、回折型レンズとして、ゾーン数が少ない、例えば30本程度以下とするのが、製造上および光学特性等の点で好ましい。さらに、レリーフ型回折光学素子を含む光学系は、上述した透過型のものに限らず、反射型に構成することもできる。

【0102】図13は、この発明の第6実施形態を説明するための図で、内視鏡として直視型のいわゆる硬性鏡を含む内視鏡装置の全体の構成を示すものである。この内視鏡装置20は、挿入部22を有する内視鏡28、カメラ24、モニタ25、ライトガイドケーブル26、および光源装置27を有している。挿入部22の先端部21には、結像光学系、照明光学系、リレー光学系などが配置されている。また、内視鏡28の基部23には、図示しない接眼光学系が配置され、その接眼光学系の後に、撮像手段としてのカメラ24が取り付けられるようになっている。ここで、内視鏡28の基部23およびカメラ24は、一体式または着脱式で構成されている。ま

た、カメラ24で撮像された被写体は、最終的にモニタ25で内視鏡映像として観察者に観察可能に表示されるようになっている。

【0103】この実施形態では、挿入部22の先端部21に配置される結像光学系をレリーフ型回折光学素子を用いて構成する。すなわち、図14に断面図を示すように、外筒31の端面に前方負レンズ32を設け、この前方負レンズ32を経て入射した光線を、レリーフ型回折光学素子33としての回折型レンズを経て像面34に結像させるようにする。レリーフ型回折光学素子33は、前方負レンズ32側を非球面とし、像面34側には、平面上に不等間隔格子パターン2'を形成して構成する。不等間隔格子パターン2'は、その中心のゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線で構成した形状を有し、他のゾーンは斜辺部を直線で近似した断面形状を有するように形成する。なお、照明光学系やリレー光学系は、公知の技術により実現できるので、ここではその図示および説明を省略してある。

【0104】上記構成において、先端部21の外径は、観察対象により異なるが、細い場合には数ミリ程度の場合がある。このような場合、レリーフ型回折光学素子33の外径も必然的に小さなものとなり、その全ゾーン数は数十本以下となる場合もある。しかし、この実施形態におけるように、中心のゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線で構成し、他のゾーンは斜辺部を直線で近似した断面形状の不等間隔格子パターン2'を有するレリーフ型回折光学素子33を用いて結像光学系を構成すれば、レリーフ型回折光学素子33の全ゾーン数が少ない場合でも、図18および図19を用いて説明したように、焦点点での強度の低下を有効に防止することができるので、良好な像を得ることができる。

【0105】なお、この実施形態において、レリーフ型回折光学素子33は、不等間隔格子パターン35を平面上に形成したものに限らず、球面上や他の曲面上に形成したものをを用いることもできる。また、この実施形態は、直視型の硬性鏡に限らず、軟性鏡や斜視型の内視鏡の結像光学系にも有効に適用することができる。

【0106】付記項

- 請求項1記載のレリーフ型回折光学素子において、該レリーフ型回折光学素子が回折型レンズで、前記第1のゾーン群に含まれるゾーンの数が、全ゾーン数の半分以上であることを特徴とするレリーフ型回折光学素子。
- 付記項1記載のレリーフ型回折光学素子において、前記第1のゾーン群は、中心のゾーンのみを含むことを特徴とするレリーフ型回折光学素子。
- 付記項2記載のレリーフ型回折光学素子において、前記中心のゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線で構成すると共に、その2直線の交点の位置を、位相シフト関数上の座標  $(R, z)$  に関して、 $(0 \leq R \leq R_1, -2\pi \leq z \leq 0)$  の範囲にあり、かつ、

$$z > -2\pi R/R_1, \quad z < -3\pi \{R - (3R_1/5)\} / R_1$$

の条件を満たすよう構成したことを特徴とするレリーフ型回折光学素子。

4. 請求項1記載のレリーフ型回折光学素子において、前記第1のゾーン群の断面形状を構成する直線のうち、1本の直線をレリーフパターンを形成する基盤の面と平行にしたことを特徴とするレリーフ型回折光学素子。

5. 付記項4記載のレリーフ型回折光学素子において、中心のゾーンのみが前記第1のゾーンに含まれ、該中心のゾーンの断面形状の斜辺部を2本の直線で構成し、その2直線の交点の位置が、位相シフト関数上の座標

$$(R, z) \text{ に関して、} \\ 0 < R < 0.59 \cdot R_1, \quad z = 0$$

の条件を満たすよう構成したことを特徴とするレリーフ型回折光学素子。

6. 請求項1、2、付記項1～5のいずれか一項記載のレリーフ型回折光学素子において、前記第1のゾーン群および第2のゾーン群が回転対称となる共通の回転軸を有するよう構成したことを特徴とするレリーフ型回折光学素子。

7. 付記項6記載のレリーフ型回折光学素子において、前記第1のゾーン群は、前記回転軸に対して垂直な面を含むことを特徴とするレリーフ型回折光学素子。

8. 請求項3記載のレリーフ型回折光学素子製造用の型において、該型が回折型レンズ製造用の型で、前記第1のゾーン群に含まれるゾーンの数が全ゾーン数の半分以下であることを特徴とするレリーフ型回折光学素子製造用の型。

9. 付記項8記載のレリーフ型回折光学素子製造用の型において、前記第1のゾーン群は、中心のゾーンのみを含むことを特徴とするレリーフ型回折光学素子製造用の型。

10. 請求項3記載のレリーフ型回折光学素子製造用の型において、前記レリーフ面を、回折作用と屈折作用との両方を同時に行うように、回折作用をなす面に屈折作用をなす面を重畳して構成したことを特徴とするレリーフ型回折光学素子製造用の型。

11. 請求項3記載のレリーフ型回折光学素子製造用の型において、前記第1のゾーン群の断面形状を構成する直線のうち、1本の直線をレリーフパターンを形成する基盤の面と平行にしたことを特徴とするレリーフ型回折光学素子製造用の型。

12. 請求項3、付記項8～11のいずれか一項記載のレリーフ型回折光学素子製造用の型において、前記第1のゾーン群および第2のゾーン群が回転対称となる共通の回転軸を有するよう構成したことを特徴とするレリーフ型回折光学素子製造用の型。

13. 付記項12記載のレリーフ型回折光学素子製造用の型において、前記第1のゾーン群は、前記回転軸に対

して垂直な面を含むことを特徴とするレリーフ型回折光学素子製造用の型。

14. 請求項1、2、付記項1～7のいずれか一つに記載のレリーフ型回折光学素子を含むことを特徴とする光学系。

#### 【0107】

【発明の効果】請求項1記載のレリーフ型回折光学素子によれば、不等間隔格子パターンを、1つのゾーン内でレリーフ面の傾き角が異なる箇所を有する断面形状を示す第1のゾーン群と、1つのゾーン内でレリーフ面の傾き角が一定の断面形状を示す第2のゾーン群とを有し、第1のゾーン群は、ピッチが最も大きいゾーンを含み、各ゾーンの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成した形状を有し、第2のゾーン群は、位相シフト関数から導かれる断面形状の斜辺部を直線で近似した形状を有して構成したので、集光点での強度を高くでき、かつ容易に製造することができる。

【0108】請求項2記載のレリーフ型回折光学素子によれば、請求項1において、レリーフ面を、屈折作用をなす面に回折作用をなす面を重畳して構成したので、ピッチが大きくなっても、集光点での強度を高くできる。

【0109】請求項3記載のレリーフ型回折光学素子製造用の型によれば、不等間隔格子パターンを、1つのゾーン内でレリーフ面の傾き角が異なる箇所を有する断面形状を示す第1のゾーン群と、1つのゾーン内でレリーフ面の傾き角が一定の断面形状を示す第2のゾーン群とを有し、第1のゾーン群は、ピッチが最も大きいゾーンを含み、各ゾーンの断面形状の斜辺部を2本以上の直線で構成した形状を有し、第2のゾーン群は、位相シフト関数から導かれる断面形状の斜辺部を直線で近似した形状を有して構成したので、型自体を容易に製作できると共に、これを用いて製造されるレリーフ型回折光学素子として、その表面の面荒れを小さくでき、したがって入射光の散乱を有効に防止して光の利用効率を向上できると共に、散乱による光学性能の低下を有効に防止でき、しかも集光点での強度を高くすることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1実施形態を説明するための図である。

【図2】図1の部分拡大図である。

【図3】第1実施形態における集光点での強度比を説明するための図である。

【図4】第1実施形態の変形例を説明するための図である。

【図5】同じく、他の変形例を説明するための図である。

【図6】この発明の第2実施形態を説明するための図である。

【図7】図6の部分拡大図である。

【図8】第2実施形態における集光点での強度比を説明

するための図である。

【図9】この発明の第3実施形態を説明するための図である。

【図10】第3実施形態の変形例を説明するための図である。

【図11】この発明の第4実施形態を説明するための図である。

【図12】この発明の第5実施形態を説明するための図である。

【図13】この発明の第6実施形態を説明するための図である。

【図14】図13に示す挿入部の先端部の要部の構成を示す図である。

【図15】平行光束を回折型レンズにより一点に集光する場合の回折面の位相シフト関数を示す図である。

【図16】位相シフト関数から導かれるレリーフ構造の回折型レンズにおける半径とレリーフ構造の高さとの関係を示す図である。

【図17】従来のレリーフ型回折光学素子を説明するための図である。

【図18】従来のレリーフ型回折光学素子におけるゾーン数に対する集光点での強度比を示す図である。

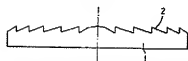
【図19】この発明に係るレリーフ型回折光学素子におけるゾーン数に対する集光点での強度比の一例を示す図である。

【図20】同じく、他の例を示す図である。

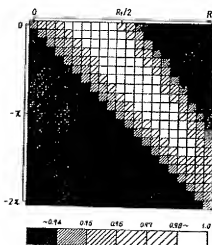
【符号の説明】

- 1、1' レリーフ型回折光学素子
- 2、2' 不等間隔格子パターン
- 3 回折格子の断面形状
- 4 位相シフト関数から導かれる断面形状
- 7 中心の1番目のゾーン
- 10、10' レリーフ型回折光学素子製造用の型
- 11 不等間隔格子パターン
- 12 絞り
- 13 屈折レンズ
- 15 像面
- 20 内視鏡装置
- 21 先端部
- 22 挿入部
- 23 基部
- 24 カメラ
- 25 モニタ
- 26 ライトガイドケーブル
- 27 光源装置
- 28 内視鏡
- 31 外筒
- 32 前方負レンズ
- 33 レリーフ型回折光学素子
- 34 像面

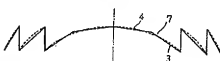
【図1】



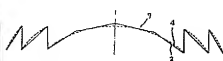
【図3】



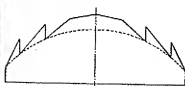
【図2】



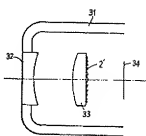
【図4】



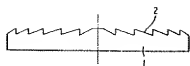
【図5】



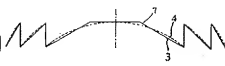
【図14】



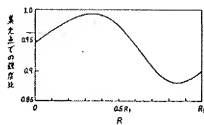
【図6】



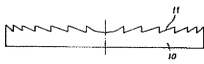
【図7】



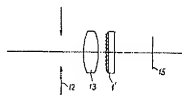
【図8】



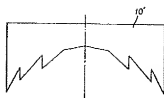
【図9】



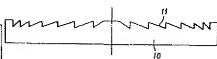
【図12】



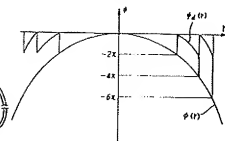
【図10】



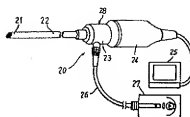
【図11】



【図15】



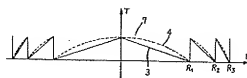
【図13】



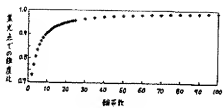
【図16】



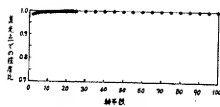
【図17】



【図18】



【図19】



【図20】

